

НЕЛІНІЙНІ ХВИЛІ РЕЛЕЯ (ДРУГЕ НАБЛИЖЕННЯ)

Олена Хотенко, Ірина Хотенко

Інститут механіки ім.С.П. Тимошенка НАНУ, h.khotenko@gmail.com

Загальні тенденції мікромініатюризації електронних пристроїв зв'язку, основними елементами яких є фільтри та датчики на поверхневих акустичних хвилях призводять до посилення впливу на їх характеристики сильного електричного поля. Це вимагає більш детального дослідження нелінійних ефектів та їх врахування на етапі проектування пристроїв, шляхом розрахунку властивостей поширення хвилі з урахуванням структурних і екологічних факторів при роботі в екстремальних умовах і високої мобільності.

В дослідженні розглянуто поширення гармонічної поверхневої хвилі Релея вздовж границі розподілу ізотропного півпростору та вакууму. Пружне деформування півпростору описується п'ятиконстантним нелінійно пружним потенціалом Мурнагана:

$$\begin{aligned} W = & \frac{1}{2} \lambda (u_{1,1} + u_{3,3})^2 + \mu \left\{ u_{1,1}^2 + u_{3,3}^2 + \frac{1}{2} (u_{1,3} + u_{3,1})^2 \right\} + \frac{1}{2} \lambda (u_{1,1} + u_{3,3}) \times \\ & \times \left[u_{1,1}^2 + u_{3,3}^2 + u_{1,3}^2 + u_{3,1}^2 \right] + \mu \left\{ u_{1,1}^2 + u_{3,3}^2 + 2u_{1,1}u_{1,3}^2 + 2u_{1,1}u_{3,1}^2 + \right. \\ & \left. + u_{1,3}u_{3,1} (u_{1,1} + u_{3,3}) \right\} + \frac{1}{3} A \left[u_{1,1}^2 + u_{3,3}^2 + \frac{3}{4} (u_{1,3} + u_{3,1})^2 (u_{1,1} + u_{3,3}) \right] + \\ & + B (u_{1,1} + u_{3,3}) \left[u_{1,1}^2 + u_{3,3}^2 + \frac{1}{2} (u_{1,3} + u_{3,1})^2 \right] + \frac{1}{3} C (u_{1,1} + u_{3,3})^3. \end{aligned} \quad (1)$$

де λ , μ – пружні сталі другого порядку (сталі Ляме); A , B , C – пружні сталі третього порядку (сталі Мурнагана).

Для визначення нелінійного потенціалу Мурнагана 3, 4, 5, 6 степенів щодо компонентів градієнта зміщень побудовано формули і відповідні їм динамічні рівняння. Отримано нові двовимірні хвильові рівняння для різних випадків, в тому числі і нехтування геометричною чи фізичною нелінійностями.

Нелінійне рівняння Релея записано у формі:

$$L + N \cdot A_\phi \cdot \omega^2 = 0, \quad (2)$$

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2022», 25–27 травня 2022 р., Львів

де L , N – лінійна та нелінійна частини, відповідно. Для певного значення швидкості хвилі Релея лінійна та нелінійна частина рівняння є сталими, то ж і значення $C = A_\varphi \cdot \omega^2$ є сталим.

Числовий аналіз рівняння Релея проведено для пружних матеріалів різних типів (метали, полімери, стекла). Також виконано його комп'ютерне моделювання. Задача є багатопараметричною, тому при числовому аналізі було обрано метод, коли фіксувалися значення частоти ω та фази $k_R x - \omega t$ і сканувалося значення початкової амплітуди A_φ .

Теоретичне спостереження певних нових нелінійних хвильових ефектів стало можливим завдяки побудованим графікам залежності швидкості хвилі Релея від значень початкової амплітуди для фіксованих частот. За результатами розрахунків видно, що чим більша швидкість поширення хвилі Релея, тим більше точність, тобто тим менше значення похибки, а також, що лінійна швидкість завжди менша за загальноприйняте значення фазової швидкості поширення хвилі

З отриманих результатів випливає, що лінійна швидкість завжди менша за загальноприйняте значення фазової швидкості поширення хвилі Релея, що визначається за формулою Вікторова. Чим більше абсолютне значення фазової швидкості, тим відхилення більше. Один з виявлених нових нелінійних ефектів полягає в тому, що при збільшенні початкової амплітуди або частоти, швидкість хвилі Релея зменшується. Вона обмежується зверху максимально можливим значенням – швидкістю лінійної хвилі.

1. *Khotenko O.O., Khotenko I.M. An analysis of a nonlinear Rayleigh equation // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – 2015. – Special Issue. – pp.283–286 .*
2. *Хотенко О.О., Хотенко І.М. Двовимірна динамічна задача теорії гіперпружності // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія фізико-математичні науки. – 2017. – Спецвипуск. – с.245–248 .*

NONLINEAR RAYLEIGH WAVES (SECOND APPROXIMATION)

The plane problem of the quadratically nonlinear elastic Rayleigh wave propagation in classical statement is studied. The numerical analysis and computer aided design of the nonlinear Rayleigh equation is applied to elastic materials of different types (metals, glasses, polymers). Common conclusions on the effect of mechanical properties of materials on results are made. New effects are detected. One of the new effects is that increasing of the initial amplitude or frequency leads to decreasing of the Rayleigh wave velocity.